

(12) NACH DEM VERFAHREN ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. Juli 2004 (01.07.2004)

PCT

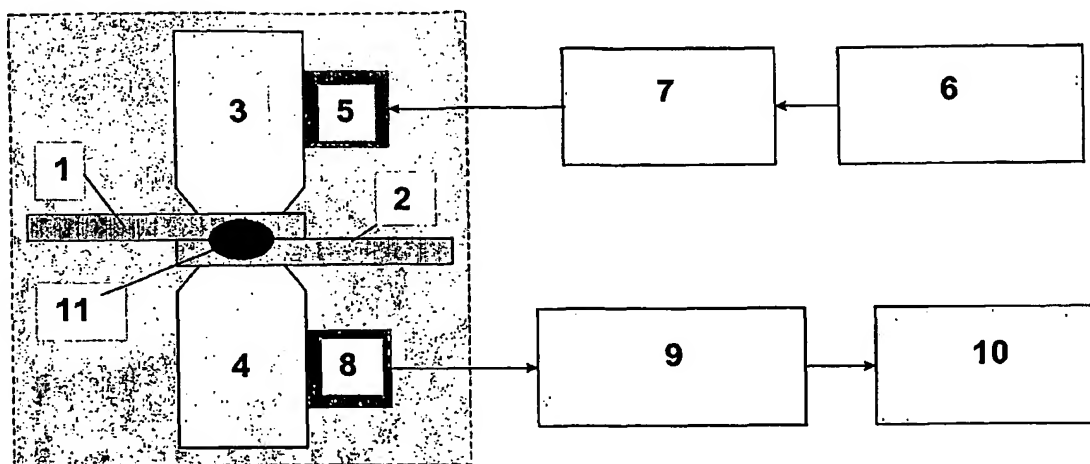
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/054749 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: B23K 31/12, 11/25, 9/095, 26/03, G01N 29/04, 29/18, B23K 15/02
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/014094
- (22) Internationales Anmeldedatum:
11. Dezember 2003 (11.12.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 59 181.4 18. Dezember 2002 (18.12.2002) DE
103 12 459.4 20. März 2003 (20.03.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WASCHKIES, Eckhard [DE/DE]; Am Biesinger Berg 58, 66440 Blieskastel (DE).
- (74) Anwalt: RÖSLER, Uwe; Landsberger Str. 480a, 81241 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR EVALUATING A WELD JOINT FORMED DURING A WELDING PROCESS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BEWERTUNG EINER SICH WÄHREND EINES SCHWEISSVORGANGES AUSBILDENDEN SCHWEISSVERBINDUNG MIT LONGITUDINALEN UND TRANSVERSALEN ULTRASCHALLWELLEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for evaluating a weld joint, which is formed during a welding process between at least two joining partners (1, 2) involving the use of at least one ultrasonic transmitter (5), which subjects the area of the forming weld joint to an ultrasonic testing using ultrasonic waves, and the use of at least one ultrasonic receiver (8), which registers sound permeability changes in the ultrasonic waves that penetrate the area of the forming weld joint in order to assess the weld joint. The invention is characterized in that: the area of the weld joint is subjected to an ultrasonic testing using longitudinal and transversal ultrasonic waves; the time-dependent sound permeability changes in the longitudinal and transversal ultrasonic waves are each registered separately from one another, and; a point in time at which a melt (11) forms in the area of the weld joint is determined based on a ratioing and serves as a basis for the evaluation of the weld joint.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren zur Bewertung einer sich während eines Schweißvorganges ausbildenden Schweißverbindung zwischen wenigstens zwei Fügepartnern (1, 2) unter Einsatz wenigstens eines den Bereich der sich ausbildenden Schweißverbindung mit Ultraschallwellen durchschallenden Ultraschallsenders (5) sowie wenigstens eines Ultraschallempfängers (8), der Schalldurchlässigkeitänderungen der den Bereich der sich ausbildenden Schweißverbindung durchdringenden Ultraschallwellen zur Beurteilung der Schweißverbindung registriert. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der Bereich der Schweißverbindung mit longitudinalen und transversalen Ultraschallwellen durchschallt wird, dass die zeitabhängigen Schalldurchlässigkeitänderungen für die longitudinalen und transversalen Ultraschallwellen jeweils getrennt voneinander registriert werden, und dass anhand einer Verhältnisbildung einerseits der Zeitpunkt ermittelt wird, an dem sich im Bereich der Schweißverbindung eine Schmelze (11) ausbildet und die andererseits als Grundlage für die Bewertung der Schweißverbindung dient.

5/PR17
10/540210
JC17 Rec'd PCT/PTO 20 JUN 2005

VERFAHREN ZUR BEWERTUNG EINER SICH WÄHREND EINES SCHWEISSVORGANGES AUSBILDENDEN
SCHWEISSVERBINDUNG MIT LONGITUDINALEN UND TRANSVERSALEN ULTRASCHALLWELLEN

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bewertung einer sich während eines Schweißvorganges ausbildenden Schweißverbindung zwischen wenigstens zwei Fügepartnern unter Einsatz wenigstens eines den Bereich der sich ausbildenden Schweißverbindung mit Ultraschallwellen durchschallenden Ultraschallsenders sowie wenigstens eines Ultraschallempfängers, der Schalldurchlässigkeitssänderungen der den Bereich der sich ausbildenden Schweißverbindung durchdringenden Ultraschallwellen zur Beurteilung der Schweißverbindung registriert.

Stand der Technik

Gattungsgemäße Verfahren zur Bewertung von Schweißverbindungen unter Verwendung an sich bekannter Ultraschallverfahren sind seit langer Zeit bekannt und dienen der Qualitätsüberprüfung derartiger, meist zwischen zwei metallischen Fügepartnern erzeugten Schweißverbindungen. Neben der an sich bekannten nachträglichen Durchschallung von bereits fertig gestellten Schweißverbindungen wird beispielsweise in der DE 43 25 878 C2 ein On-line-Bewertungsverfahren beschrieben, mit dem es möglich ist, Schweißvorgänge, insbesondere im Rahmen eines Widerstands-Schweißprozesses, während des Schweißprozesses selbst, zu vermessen und entsprechend zu bewerten. Hierbei wird auf der Grundlage der Durchschallung und Auswertung von transversalen Ultraschallwellen durch den Bereich der Schweißverbindung der Zeitpunkt ermittelt, an dem die Schmelztemperatur des Schweißgutes erreicht wird und sich eine Schweißlinse zwischen beiden Fügepartnern auszubilden beginnt, deren Schweißlinsenvolumen nach Erreichen der Aufschmelztemperatur während des weiteren Schweißvorganges aus der Schwächung der Scher- bzw. Transversalwellen berechnet wird. Im übrigen wird auch auf die vorstehende Druckschrift aus Gründen einer weitgehend vollumfänglichen Diskussion des übrigen, gattungsgemäßen

BEST AVAILABLE COPY

Standes der Technik in Bezug auf Bewertungsverfahren zur Beurteilung von Schweissverbindungen verwiesen.

Zur Erläuterung der den bekannten Bewertungsverfahren bestehende Problematik wird im weiteren auf Fig. 2 kurz Bezug genommen, die schematisiert eine Standardmessanordnung zur Durchführung eines Schweissvorganges zum Verbinden zweier Blechbauteile im Wege des Widerstand-Schweissens zeigt. Hierbei werden zwei als Flachbleche ausgebildete Fügepartner 1 und 2 zumindest teilweise in Deckung gebracht, so dass sie im Überdeckungsbereich einen zweilagigen Blechschichtaufbau bilden. An den sich gegenüberliegenden Seiten des Blechschichtaufbaus sind jeweils eine Schweisselektrode 3, 4 angebracht, die jeweils über eine vorzugsweise ebene oder ballige Kontaktfläche mit den entsprechenden Fügepartner 1, 2 in Berührung stehen. Ferner ist die in der Bilddarstellung gemäß Fig. 2 obere Schweisselektrode 3 mit einem Ultraschallsender 5 gekoppelt, der über einen mit einer Schweissstromsteuerung 6 verbundenen Ultraschallpulsgenerator 7 angesteuert wird. In ähnlicher Weise ist die untere Schweisselektrode 4 mit einem Ultraschallempfänger 8 gekoppelt, dessen Empfangssignale über eine Auswerteeinheit 9 zur Schweisspunktbewertung 10 zugrunde gelegt werden.

Der Widerstand-Schweissprozess besteht im allgemeinen aus drei Phasen. Die erste Phase entspricht der sogenannten Vorhaltezeit, während der kein Strom fließt, die Schweisselektroden 3, 4 üblicherweise jedoch mit einer Elektrodenkraft von 1 bis 4 kN über die Kontaktflächen gegen die Fügepartner 1, 2 drücken. An die Vorhaltezeit schließt sich die Stromflussphase oder Stromzeit an, in der die Fügepartner aufgeheizt werden, bis sich zumindest im Kontaktbereich zwischen den beiden Fügepartnern 1 und 2 eine Schmelze in Form einer Schweisslinse 11 ausbildet. Die Größe des sich dabei ausbildenden Schweisslinsenvolumens ist durch die Stromstärke und die Dauer der Stromflussphase einstellbar. An die Stromflussphase schließt sich letztlich die Nachhaltezeit bzw. Abkühlphase an, in der sich die Schweisslinse abkühlt bis sie erstarrt, erst danach öffnen sich die Schweisselektroden und geben den Bereich der Schweissverbindung frei. Im Regelfall sind die vorstehenden drei Phasen in etwa zeitlich gleich lang gewählt.

BEST AVAILABLE COPY

Mit Hilfe der in Fig. 2 dargestellten Messanordnung wird der Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung während des Schweissvorganges selbst über die Schweisselektroden 3, 4 durchschallt. Hierzu werden in die Schweisselektrode 4 gemäß Fig. 2 transversale Ultraschallimpulse eingeschallt, die zunächst die Schweisselektrode 3 und anschließend den Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung durchlaufen, bis sie letztlich über die Gegenelektrode 4 vom Ultraschallempfänger 8 empfangen werden.

Zur Ermittlung der Größe der sich zwischen den Fügepartnern 1 und 2 ausbildenden Schweisslinse während der Stromflussphase wird der zeitliche Verlauf der transversalen Ultraschalldurchlässigkeit durch den Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung herangezogen. Bei der Auswertung geht man in an sich bekannter Weise davon aus, dass das Ultraschalldurchlässigkeitsverhalten durch den sich ausbildenden Schweissverbindungsbereich für transversale Ultraschallwellen im wesentlichen ausschließlich durch die Schweisslinsenbildung beeinflusst wird.

Genauere Untersuchungen durch die Anmelderin selbst zeigen jedoch, dass die vorstehenden, nach dem Stand der Technik angestellten Annahmen die Realität über das tatsächliche Ausbreitungsverhalten von Ultraschallwellen insbesondere von Transversalwellen nur unzureichend beschreiben, wodurch die bisherigen Aussagen die räumliche Ausbildung einer die Festigkeit einer Schweissverbindung bestimmenden Schweisslinse nur unbefriedigend genau sind. So ergaben detailliertere Analysen zur Schallausbreitung, dass die Ultraschalldurchlässigkeit der miteinander zu verschweisenden Fügeteile nicht nur durch die Bildung der Schweisslinse selbst beeinflusst wird, sondern auch durch die Erwärmung und Vergrößerung der Kontaktzonen zwischen den jeweiligen Schweisselektroden und den Fügepartneroberflächen sowie der Kontaktzone zwischen den jeweiligen Fügepartnern. Es hat sich gezeigt, dass die Ultraschallübertragung an den Kontaktzonen stark von der Temperatur, dem Druck, der Frequenz sowie der realen Kontaktflächengröße abhängig ist. Vorstehende Parameter verändern sich während

des Schweissvorganges und üben einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die zu bestimmende Ultraschalldurchlässigkeit aus.

Zur Veranschaulichung dieser nach dem Stand der Technik bisher unberücksichtigt gebliebenen Effekte bezüglich des Temperatureinflusses sowie des Einflusses der Kontaktflächenvergrößerung auf die Ultraschalldurchlässigkeit durch eine sich ausbildende Schweissverbindung wird auf Fig. 3 verwiesen.

Fig. 3 zeigt in Diagrammdarstellung den Verlauf der Ultraschalldurchlässigkeit durch ein 1 mm dickes Einzelblech, das zweimalig nacheinander an ein und der gleichen Stelle im Wege des Widerstand-Schweissens behandelt worden ist. Das Diagramm weist eine Abszisse auf, längs der die Schweissdauer in Millisekunden $\times 10$ aufgetragen ist. Hierbei ist lediglich die Stromflussphase bzw. Stromzeit von 0 bis 150 ms sowie die Abkühlphase zwischen 150 ms und 350 ms dargestellt. Längs der Ordinate des in Fig. 3 dargestellten Diagrammes sind Ultraschallamplituden aufgetragen, die der Schalldurchlässigkeit durch den Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung für die Ultraschallwellen entsprechen.

Die in Fig. 3 dargestellten Messwerte entsprechen Schweissungen, die mit einem Strom von 5 kA und einem jeweiligen Elektrodendruck von 2 kN durchgeführt worden sind. Der Durchmesser der Kontaktflächen zwischen der Blechoberfläche und den Schweisselektroden beträgt etwa 4 bis 5 mm. Nachträglich durchgeführte Schliffe an der erkalteten Schweissstelle belegen, dass sich innerhalb des Bleches keine Schmelzlinse ausgebildet hat.

Nun zeigt sich, dass sich während der ersten Schweissung (unterer Funktionsverlauf innerhalb der Stromzeit sowie oberer Funktionsverlauf innerhalb der Nachhaltezeit/Abkühlphase) der Durchlässigkeitsverlauf während der Stromzeit nicht sehr ändert. Die Schallschwächung durch die Temperaturerhöhung der Elektroden-Blechkontakte sowie die Durchlässigkeitsverbesserung durch die Kontaktflächenvergrößerung heben sich in etwa auf. Erst nach Ende der Stromzeit macht sich die Kontaktflächenvergrößerung bemerkbar, wodurch die Vergrößerung

des Elektroden-Blechkontaktes zu einem merklichen Durchlässigkeitsanstieg in der Abkühlphase führt.

Bei der Wiederholschweissung auf denselben Punkt (stark abfallender Funktionsverlauf innerhalb der Stromzeit sowie unterer Funktionsverlauf innerhalb der Nachhaltezeit) ändert sich die Größe der Elektroden-Blechkontaktflächen nicht wesentlich, was daran zu erkennen ist, dass die Ultraschalldurchlässigkeit zu Beginn der Stromzeit und am Ende der Nachhaltezeit praktisch gleich groß ist. Die Schwächung der Durchlässigkeit während der Stromzeit innerhalb der zweiten Schweissung wird allein durch die Temperaturerhöhung des Elektroden-Blechkontaktes verursacht. Somit zeigt sich, dass es anhand des Schalldurchlässigkeitsverlaufes, insbesondere bei der Wiederholschweissung, nicht möglich ist, zu erkennen, ob die Schallschwächung durch eine sich ausbildende Flüssigphase bzw. Schmelzung im Blechinneren verursacht wird, oder lediglich durch den Temperaturanstieg an den Elektroden-Blechkontakten. Erst, wie eingangs erwähnt, mit Hilfe eines nachträglichen Anschliffes im Bereich der Schweissstelle ist es möglich festzustellen, ob im Blechinneren eine Aufschmelzung stattgefunden hat oder nicht.

Das vorstehende Beispiel zeigt deutlich, dass durch ausschließliche Untersuchung des Schalldurchlässigkeitsverhaltens von Scherwellen bzw. Transversalwellen durch die Schweissstelle eine nur unzureichende Aussage über eine sich ausbildende Schweisslinse angestellt werden kann.

Darstellung der Erfindung

Die vorstehenden Ausführungen machen deutlich, dass eine Bewertung einer sich während eines Schweissvorganges ausbildenden Schweissverbindung zwischen wenigstens zwei Fügepartnern unter Einsatz wenigstens eines den Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung mit Ultraschallwellen durchschallenden Ultraschallsenders sowie wenigstens eines Ultraschallempfängers, der Schalldurchlässigkeitsänderungen der den Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung durchdringenden Ultraschallwellen zur Beurteilung der

Schweisssverbindung registriert, auf der Grundlage der ausschließlichen Detektion und Auswertung von an sich bekannten, den Bereich der sich ausbildenden Schweisssverbindung durchschallenden transversalen Ultraschallwellen nur sehr unzureichend bzw. gar unmöglich ist. So gilt es, ein Bewertungsverfahren anzugeben, das mit hoher Exaktheit und Zuverlässigkeit eine aussagekräftige Bewertung einer Schweisssverbindung ermöglicht unter Vermeidung aller bei den bekannten Verfahren innewohnenden Unzulänglichkeiten bzw. Unsicherheiten.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand der Unteransprüche enthalten den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale, die überdies auch der weiteren Beschreibung unter Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele entnommen werden können.

Das erfindungsgemäße Verfahren geht von der Erkenntnis aus, die Einflüsse der Kontakte zwischen den Koppelflächen zur Schallein- bzw. -auskopplung an den Oberflächen der Fügepartner sowie zwischen den Fügepartnern (bis auf die Schmelzenbildung) auf das Schalldurchlässigkeitsverhalten weitgehend zu eliminieren. Wie im weiteren detailliert ausgeführt wird, erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren eine nahezu ausschließliche Ermittlung der Schmelzvorgänge im Bereich der Fügepartner. Aus thermodynamischen Gründen findet der Schmelzvorgang in der Regel an der Kontaktzone der sich berührenden Fügepartner statt.

Der Fall, dass sich an anderer Stelle z.B. den Schallein- und Auskoppelstellen Schmelzphasen bilden wird ebenfalls registriert, er stellt eine Störung im Schweißprozess dar (z.B. Ausfall der Elektrodenkühlung). Er wird dadurch erkannt dass der Schmelzprozess zu einem ungewöhnlichen Zeitpunkt auftritt.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegen folgende Erkenntnisse zugrunde: Kontakte zwischen Festkörpern, wie sie beispielsweise zwischen den Schweisselectroden und der Oberfläche eines Fügepartners sowie auch zwischen zwei unmittelbar aneinander liegenden Fügepartnern gebildet werden, stellen keineswegs ideale vollständige Kontaktflächen mit einer nur geringen

Temperaturabhängigkeit in Bezug auf die Ultraschalldurchlässigkeit dar. Derartige Ultraschallkontakte stellen vielmehr reale, unvollständige Kontakte dar, die sehr wohl eine von der Kontaktqualität abhängige Temperaturabhängigkeit der Ultraschalldurchlässigkeit aufweisen. Im Unterschied zu idealen Festkörperkontakten, bei denen die gesamte Fläche kontaktiert ist, bestehen reale Kontakte infolge der Rauigkeit aller realen Oberflächen lediglich aus einer Summe von Einzelkontakten. Je schlechter der Gesamtkontakt, desto stärker ist die Temperaturabhängigkeit der Ultraschalldurchlässigkeit. Zur Beschreibung des Schalldurchgangs realer Grenzflächen hat sich das so genannte Kontaktsteifigkeitsmodell etabliert (siehe hierzu J.-M. Baik, R.B. Thompson, Ultrasonic scattering from imperfect interfaces: A Quasi Static Model; J. Nondestr. Eval. 4 (1984), 177ff; Kendall, K.; Tabor, D.: Proc.Roy Soc. Lond. A 323, 321(1971); Peter B. Nagy „Ultrasonic Classification of Imperfect Interfaces“ J. NDE, S. 127, Vol. 11, 1992), gemäß dem die Ultraschallübertragung an Festkörperkontakten nur wenig von der Wellenart abhängig ist, d.h. die Schallübertragung von longitudinalen und transversalen Ultraschallwellen durch reale unvollständige Kontaktflächen ist in etwa gleich ausgebildet.

Zur Ermittlung des Schalldurchlässigkeitsverhaltens, beispielsweise durch einen zweischichtigen Aufbau, bestehend beispielsweise aus zwei aneinander gefügten Blechlagen, zeigt sich, dass sich die Gesamtschalldurchlässigkeit durch die Blechlagen als Produkt der Schalldurchlässigkeiten durch die einzelnen durchschallten Zonen beschreibbar ist, d.h. im Falle des vorstehenden Zweischichtaufbaus setzt sich das Produkt aus vier Einzeltermen zusammen, nämlich die Durchlässigkeiten der Elektroden-Blechkontakte (für die Schallein- und auskopplung), die Durchlässigkeit des Blech-Blechkontaktes sowie die Durchlässigkeit durch das Blechinnere.

Schließlich kann davon ausgegangen werden, dass Flüssigkeiten, d.h. sich ausbildende flüssige Schweisslinsen, keine Transversalwellen zu übertragen vermögen, gleichwohl longitudinale Schallwellen nur unwesentlich durch die Flüssigphase in ihrem Ausbreitungsverhalten beeinflusst werden.

Auf der Basis der vorstehenden Erkenntnisse zeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren dadurch aus, dass der Bereich der Schweissverbindung sowohl mit longitudinalen als auch mit transversalen Ultraschallwellen durchschallt wird. Zur Registrierung der beiden unterschiedlichen Ultraschallwellenarten werden mit Hilfe des Ultraschallempfängers die zeitabhängigen Schalldurchlässigkeitsänderungen sowohl für die longitudinalen als auch für die transversalen Ultraschallwellen jeweils getrennt voneinander registriert. Zur gezielten Beseitigung der Kontakteinflüsse zwischen den Schallein- bzw. Schallauskoppelflächen und den jeweiligen Fügepartnern werden die zeitabhängigen Schalldurchlässigkeitsänderungen bezüglich der longitudinalen und transversalen Ultraschallwellen ins Verhältnis gesetzt und anhand der damit gewonnenen Verhältnisfunktion der Zeitpunkt t_s ermittelt, an dem sich im Bereich der Schweissverbindung eine Schmelze ausbildet. Sowohl der Zeitpunkt t_s als auch der weitere Verlauf der Verhältnisfunktion dienen als Grundlage für die Bewertung der Schweissverbindung.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich nicht nur zur Untersuchung von Schweissverbindungen, die im Wege eines Erstscheißung zwischen zwei Fügepartner herstellbar sind, das erfindungsgemäße Verfahren kann auch bei wiederholtem Energieeintrag zwischen zwei oder mehreren bereits in Verbindung stehenden Fügepartnern, bspw. im Wege eines Mehrimpulsscheißens erfolgreich eingesetzt werden. Hierbei befinden sich die Fügepartner bereits durch Vor- oder Erstscheißungen in einem ersten stofflichen Kontakt, der jedoch in einem weiteren nachträglichen Schweissverfahren in überwachter Weise verstärkt bzw. verfestigt werden soll. Durch die unmittelbare Überwachung der sich ausbildenden Scheißlinse lässt sich ihr Auftreten sowie ihre Größe und damit die Güte der sich ausbildenden Schweissverbindung exakt angeben.

Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich unabhängig von der Art des Scheißverfahrens einsetzen. Sollte es neben dem technischen Anwendungsgebiet des Fugescheißens, sei es das Kontaktscheißens, wie bspw. das Widerstandsscheißens, oder das Kontaktfreie Scheißens, wie bspw. das

Strahlschweissen, weitere Einsatzgebiete geben, in denen die Überwachung der Ausbildung einer Flüssigphase innerhalb eines festen Mediums vermittle eines geeigneten Energieeintrags von Bedeutung ist, z.B. die Bewertung von schmelzenden Beschichtungen, so ist die technische Lehre des erfindungsgemäßen Verfahrens auch auf jene Anwendungsfälle übertragbar, d.h. der dem Anspruch 1 zugrundeliegende Gedanke soll nicht ausschließlich auf das Schweissverfahren per se beschränkt sein, sondern all jene technischen Applikationen mitumfassen, bei denen sich durch lokale thermische Erhitzung innerhalb eines Festkörpers räumlich begrenzte Schmelzen ausbilden, so bspw. zur lokalen Materialstrukturumwandlung bzw. -änderung. Derartige Umwandlungen können bspw. zur lokalen Materialhärtung nutzbar gemacht werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren soll detailliert im weiteren unter Bezugnahme auf die Figuren beschrieben werden.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1a schematisierte Anordnung zum Durchführen eines Schweissprozesses unter Verwendung des Widerstand-Schweissens,
- Fig. 1b Diagrammdarstellung zur Veranschaulichung des Durchlässigkeitsverlaufes von Transversal- und Longitudinalwellen sowie
- Fig. 1c Diagrammdarstellung zur Veranschaulichung des Durchlässigkeitsverlaufes aus dem Verhältnis der Schalldurchlässigkeiten von Longitudinal- zu Transversalwelle,

- Fig. 2 Standardmessanordnung,
- Fig. 3 Diagrammdarstellung zur Veranschaulichung des
Schalldurchlässigkeitsverlaufes zweier nacheinander an einem 1 mm
dicken Blech durchgeführten Kontaktschweißungen, sowie
- Fig. 4 modifizierte Messanordnung zur getrennten
Schalldurchlässigkeitsmessung von Longitudinal- und
Transversalwellen.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

Zur weiteren Beschreibung des Schalldurchlässigkeitsverhaltens von Longitudinal- und Transversalwellen, die eine sich ausbildende Schweissverbindung während ihrer Entstehung, also während des Schweissprozesses, durchdringen bzw. mit der Schweissverbindung in Wirkverbindung treten, sei auf die in Fig. 1a stark schematisierte Darstellung verwiesen, die die wichtigsten, den Schallweg von Ultraschallwellen beeinflussende Komponenten zeigt. So sei angenommen, dass als Fügepartner 1, 2 zwei Flachbleche miteinander über einen flächenhaften Presskontakt in Berührung stehen und einen Blech-Blech-Kontakt, B-B-Kontakt, ausbilden. Für den Energieeintrag zur Ausbildung einer thermisch bedingten Schweisslinse zwischen den beiden Fügepartner 1, 2 sind jeweils eine Schweisselektrode 3, 4 an den entsprechenden Oberseiten der Bleche angebracht, die jeweils mit den Fügepartner 1, 2 einen Elektroden-Blech-Kontakt, E-B-Kontakt, bilden. Wie bereits unter Bezugnahme auf Fig. 2 dargestellt, die eine Standardmessanordnung zur Beurteilung einer Schweissverbindung zeigt, werden über die Schweisselektroden 3, 4 Ultraschallwellen in die Fügepartner 1, 2 eingeschallt bzw. entsprechend registriert. Typischerweise ist ein Ultraschallsender mit der Schweisselektrode 3, entsprechend ein Ultraschallempfänger akustisch mit der Schweisselektrode 4 gekoppelt.

Ausgehend von der in Fig. 1a dargestellten schematisierten Messanordnung lässt sich die Schalldurchlässigkeit für die Longitudinal- sowie Transversalwellen durch folgende mathematische Zusammenhänge beschreiben:

$$D_l(t) = (EB)_l(t) \cdot (BB)_l(t) \cdot (BI)_l(t) \cdot (BE)_l(t) \quad (1)$$

$$D_t(t) = (EB)_t(t) \cdot (BB)_t(t) \cdot (BI)_t(t) \cdot (BE)_t(t) \quad (2) \dots$$

Wie bereits vorstehend erwähnt, verhält sich die Ultraschallübertragung an Festkörperkontakten, d.h. realen Kontakten, nach dem sogenannten Kontaktsteifigkeitsmodell, wonach sich die Ultraschallübertragung nur wenig von der Wellenart, d.h. ob longitudinale oder transversale Welle, abhängig ist. Zur mathematischen, vorstehenden Beschreibung des Durchlässigkeitsverlaufes ergibt sich die Durchschallung der in Fig. 1a dargestellten Messanordnung als Produkte der Durchlässigkeiten an den einzelnen durchschallten Zonen. Hierbei entsprechen die Terme EB(t) bzw. BE(t) jeweils der Schalldurchlässigkeit zwischen dem Elektroden-Blech-Kontakt, der an der Grenzfläche zwischen der Schweisselektrode 3 und dem Fügepartner 1 bzw. zwischen dem Fügepartner 2 und der Schweisselektrode 4 auftritt. Es kann im weiteren davon ausgegangen werden, dass EB(t) und BE(t) in etwa gleich sind. Die in den mathematischen Formelausdrücken 1 und 2 verwendeten tiefgestellten Indizes l und t geben jeweils die Schalldurchlässigkeit durch die einzelnen Kontakte für Longitudinalwellen (l) bzw. Transversalwellen (t) an. Der Term BB(t) entspricht der Schalldurchlässigkeit zwischen dem Blech-Blechkontakt zwischen den beiden Fügepartnern 1 und 2 und letztlich der Term BI(t) entspricht der Schalldurchlässigkeit jeweils innerhalb der Fügepartner 1 bzw. 2.

Stellt man dem vorstehend durch die Gleichungen 1 und 2 vorgegebenen mathematischen Modell für die Schalldurchlässigkeit bezüglich der Longitudinalwellen und Transversalwellen den tatsächlich gemessenen Schalldurchlässigkeitsverlauf für Longitudinal- und Transversalwellen gegenüber, die in der Diagrammdarstellung gemäß Fig. 1b aufgetragen sind, so können folgende Feststellungen getroffen werden.

Fig. 1b zeigt ein Diagramm, längs dessen Abszisse die Stromzeit während des Schweissvorganges angetragen ist. Längs der Ordinate sind die gemessenen Durchlässigkeitswerte zu entnehmen. Bezüglich der beiden im Diagramm eingetragenen Funktionsverläufe, entspricht der untere Funktionsverlauf dem Durchlässigkeitsverhalten der Transversalwellen. Der obere Funktionsverlauf stellt das Schalldurchlässigkeitsverhalten der Longitudinalwellen dar. Die in Fig. 1b dargestellten Messwerte sind während eines Widerstand-Schweissprozesses an zwei jeweils 1 mm dicken unbeschichteten Blechen gewonnen worden.

Zu Beginn der Schweissung ist für beide Wellenarten ein leichter Rückgang der Schalldurchlässigkeit zu beobachten, der durch eine temperaturbedingte Schallschwächung am Elektroden-Blech-Kontakt erklärbar ist. Infolge einer unmittelbar darauffolgenden wirksam werdenden Vergrößerung des Elektroden-Blech-Kontaktflächenbereiches steigt die Durchlässigkeit für beide Wellenarten dennoch an. Erst nach etwa 30 bis 40 ms setzt eine deutlich erkennbare Schallschwächung für beide Wellenarten ein, die durch die Temperaturerhöhung an dem innen liegenden Blech-Blechkontakt hervorgerufen wird. Da die Blech-Blech-Kontaktfläche weitaus größer ausgebildet ist als die Elektroden-Blech-Kontaktflächen ist der temperaturerhöhende Effekt zwischen der Blech-Blech-Kontaktfläche stärker ausgebildet als jener vorstehend beschriebene Temperatureffekt an den Elektroden-Blech-Kontaktflächen. Bis zum Zeitpunkt des Erreichens der Schmelztemperatur t_s , die den Schmelzzeitpunkt definiert, ab dem sich zwischen den Fügepartnern 1 und 2 eine Schmelzlinse beginnt auszubilden, ist festzustellen, dass das Schalldurchlässigkeitsverhalten sowohl für die Transversalwelle als auch für die Longitudinalwelle in gleicher Weise beschreibbar ist. Mit Erreichen der Schmelztemperatur t_s am Blech-Blech-Kontakt zeigen die Durchlässigkeitsverläufe der Longitudinal- und Transversalwellen jedoch einen deutlichen unterschiedlichen weiteren Verlauf. Die Schalldurchlässigkeit der Longitudinalwelle steigt trotz weiterer Ausbildung einer Schmelzlinse zwischen beiden Fügepartnern nahezu kontinuierlich an, die letztendlich bedingt ist durch die Vergrößerung der Elektroden-Blech-Kontaktflächen. Hingegen zeigt das Schalldurchlässigkeitsverhalten der

Transversalwelle einen bleibenden tiefergehenden Einbruch, der letztlich durch die sich ausbildende Schweisslinse am Blech-Blech-Kontakt verursacht ist, weil Transversalwellen viskose oder gar flüssige Phasen nicht zu durchdringen vermögen. Vielmehr wird die Transversalwelle an der sich ausbildenden Schmelzlinse regelrecht reflektiert.

Demgegenüber wird für die Longitudinalwelle die kontaktbedingte Schwächung, die vor Erreichen des Schmelzzeitpunktes am Blech-Blech-Kontakt vorliegt, durch die sich ausbildende Schmelzlinse aufgrund eines sich einstellenden idealen Flächenkontaktes regelrecht aufgehoben, weshalb die longitudinale Schallwellendurchlässigkeit, bedingt durch die Verbreiterung der Schweißlinse, auch nach Erreichen des Schmelzzeitpunktes kontinuierlich ansteigt.

Setzt man nun die in den Gleichungen 1 und 2 bezeichneten Schalldurchlässigkeiten für Longitudinal- und Transversalwellen ins Verhältnis zueinander, so heben sich all jene Einflüsse auf, die auf beide Wellenarten gleich einwirken. Dies betrifft insbesondere Einflüsse, die durch die Kontaktflächenvergrößerung sowie durch den Temperaturanstieg in den Kontaktzonen hervorgerufen werden. Auch kürzen sich die Terme BI_l sowie BI_t gegenseitig weg, zumal diese bei niedrigen Frequenzen und insbesondere kurzen Laufwegen durch die Fügepartner in etwas gleich groß sind und insofern keine wesentliche Rolle im Hinblick auf die Schallschwächung spielen. Es ergibt sich daher folgender weiterer Zusammenhang:

$$\frac{D_t(t)}{D_l(t)} = \frac{(EB)_l^2(t) \cdot (BB)_l(t) \cdot (BI)_l(t)}{(EB)_t^2(t) \cdot (BB)_t(t) \cdot (BI)_t(t)} \quad (3)$$

Vorstehende Gleichung (3) lässt sich in nachstehender Weise in die in Gleichung (4) vereinfachte Form bringen, die lediglich aus zwei Termen gemäß den Gleichungen (5) und (6) besteht.

$$\frac{D_l(t)}{D_t(t)} \approx \frac{(EB)_l^2(t) \cdot (BB)_l(t)}{(EB)_t^2(t) \cdot (BB)_l(t)} = f_1^2(t) \cdot f_2(t) \quad (4) \quad \text{mit}$$

$$f_1(t) = \frac{EB_l}{EB_t}(t) \quad (5) \quad \text{und}$$

$$f_2(t) = \frac{BB_l}{BB_t}(t) \quad (6)$$

Hierbei beschreibt die Gleichung (5) den Verlauf des Schalldurchlässigkeitsverhältnisses an den Elektroden-Blech-Kontakten, der sich aufgrund einer Plastifizierung am Elektroden-Blech-Kontakt zeitlich etwas ändern kann. Gleichung (6) beschreibt den Verlauf des Verhältnisses der Schalldurchlässigkeiten am Blech-Blech-Kontakt. Dieser in Gleichung (6) wiedergegebene Term zeigt im Bereich des Schmelzzeitpunktes t_s eine große Änderung, der mit dem Fest-Flüssig-Übergang zusammenhängt. Somit ist das Verhältnis aus longitudinaler und transversaler Schallwellendurchlässigkeit gemäß Gleichung (4) insbesondere im Bereich des Schmelzzeitpunktes im wesentlichen durch den Term gemäß Gleichung (6) bestimmt und die Kontakteinflüsse weitgehend eliminiert. Aus Gleichung (4) kann somit der Fest-Flüssig-Übergang an einem Sprung der Steigung leicht ermittelt werden. Hierzu sei insbesondere auf Fig. 1c verwiesen, das ein Diagramm zeigt, in dem der Funktionsverlauf der Gleichung (4), sprich der Durchlässigkeitsverlauf des Verhältnisses aus Longitudinal- und Transversalwellen-Durchlässigkeit abgebildet ist. So steigt der Funktionsverlauf zwischen 0 ms und dem Schmelzzeitpunkt t_s , der im Fall Fig. 1b etwa bei 50 ms liegt, kontinuierlich leicht an. Am Schmelzzeitpunkt t_s erfolgt ein deutlicher Anstieg des Funktionsverlaufes, der sich in einer deutlichen sprunghaften Änderung im Steigungsverhalten der Funktion niederschlägt. So erfährt die Steigung des Funktionsverlaufes am Punkt des Schmelzzeitpunktes t_s eine erhebliche positive Änderung, die sich letztlich durch das zeitliche Verhalten des Terms gemäß Gleichung (6) bestimmt.

Durch die erfindungsgemäße Division des Schalldurchlässigkeitsverhaltens bezüglich der longitudinalen und transversalen Ultraschallwellenanteilen gelingt es, die Kontakteinflüsse, die von den EB- und BB-Kontaktstellen herrühren, bei der

Beurteilung des akustischen Durchschallungsverhaltens der sich ausbildenden Schweissstelle nahezu vollständig zu eliminieren. So ist es in vielen Anwendungsfällen von besonderer Bedeutung für die Beurteilung einer Schweissverbindung lediglich festzustellen, ob und wann die Flüssigphase zwischen den sich berührenden Fügepartnern während des Schweissvorganges erreicht wird oder nicht. Darüber hinaus ist die Geschwindigkeit mit der die Bildung der Schmelzphase erfolgt ein Mittel die zu erwartende Schweißlinsengröße abzuschätzen. Die Geschwindigkeit des Schweißlinsenwachstums ergibt sich aus der Steigung der Verhältnisfunktion nach dem Schmelzzeitpunkt.

Insbesondere werden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren die Einsatzmöglichkeiten des Ultraschallprüfverfahrens zur Schweisspunktbewertung entscheidend erweitert. So ist es beispielsweise möglich, bei mehr Mehrimpulsschweissungen, wie sie beispielsweise zum Stand der Technik unter Bezugnahme auf die Fig. 3 beschrieben worden ist, genaue Aussagen zu treffen, ob sich eine Schweisslinse ausgebildet hat oder nicht. Dies ist, wie einleitend ausgeführt, mit den bisherigen Ultraschallprüfverfahren nicht möglich.

Insbesondere bei Schweisskonstellationen, wie es beispielsweise beim Mikrofügen der Fall ist, in denen der Kontaktflächeneinfluss im Vergleich zum Einfluss der sich zwischen den Fügepartnern ausbildenden Flüssigphase besonders groß ist, vermag das erfindungsgemäße Bewertungsverfahren zuverlässige Aussagen über die Ausbildung von Flüssigphasen zwischen den jeweiligen Fügepartnern zu geben.

Überdies eröffnen sich mit dem erfindungsgemäßen Bewertungsverfahren für Schweissprozesse vollkommen neue Anwendungsfelder, in denen der Kontaktzoneneinfluss und die Ausbildung der Flüssigphase zeitlich nicht getrennt werden können, wie es beispielsweise bei kurzzeitigen Schweissprozessen, insbesondere beim Kondensatorentladungsschweissen der Fall ist.

Auch ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine zuverlässige Analyse und Bewertung einer sich ausbildenden Schweissverbindung, bei der der

Schweissvorgang an den Kontaktflächen zwischen den Schweisselectroden und den jeweiligen Fügepartnern große Veränderungen der Kontaktflächen bewirken, wie es beispielsweise beim sogenannten Buckelschweissen der Fall ist. Insbesondere bei derartigen Schweissungen war es bisher schwierig bis unmöglich, entsprechende Bewertungen vorzunehmen.

In gleicher Weise eignet sich das Verfahren zur Beurteilung von Schweissungen von Drähten auf Blech oder Draht auf Draht. Auch in diesen Fällen verändern sich die Kontaktflächen zwischen Elektrode und Schweisstail während des Schweissens erheblich.

Das erfindungsgemäße Bewertungsverfahren lässt sich neben dem vorstehend beschriebenen Widerstand-Schweissen, bei dem die Ultraschallwellen über eine Schweisselectrode in die Fügepartner eingekoppelt und über eine entsprechend positionierte Gegenelektrode aus den Fügepartnern ausgekoppelt werden, auch bei anderen, insbesondere kontaktfreien Schweissverfahren erfolgreich anwenden. Beispielsweise ist es möglich, im Wege eines Strahlschweissverfahrens, wie beispielsweise Laser-, Elektronen- oder Ionenstrahlverfahren, Ultraschallwellen in geeigneter Weise in die zu verbindenden Fügepartner ein- bzw. auszukoppeln. Hierbei ist es jedoch erforderlich, den Ultraschallsender bzw. Ultraschallempfänger direkt an eine entsprechende Oberfläche der jeweiligen Fügepartner akustisch anzukoppeln. Der Vorteil des Widerstand-Schweissverfahrens im Unterschied beispielsweise zum kontaktfreien Strahlschweissen ist darin zu sehen, dass der den Schweissprozess bewirkende Energieeintrag über die gleiche Koppelfläche in die Schweisspartner eindringt, über die auch die Ultraschallwellen zur Bewertung der Schweissverbindung ein- bzw. ausgekoppelt werden. Gleichwohl können die vorstehenden Überlegungen zum erfindungsgemäßen Verfahren auch auf andere Schweissprozesstypen erfolgreich Anwendung finden.

Das erfindungsgemäße Verfahrensprinzip beruht grundsätzlich auf der gleichzeitigen Bestimmung und Auswertung der longitudinalen und transversalen Durchlässigkeitsverläufe durch die sich ausbildende Schweissverbindung. Die

Bestimmung der Schalldurchlässigkeitsverläufe für beide Wellenarten kann auf verschiedene Weise realisiert werden. Prinzipiell entstehen bei der Schallausbreitung in räumlich begrenzten Festkörpern durch die Reflexion der Schallwellen an den Begrenzungsflächen immer auch die jeweils andere Wellenart, d.h. bei der Ausbreitung einer Transversalwelle entsteht auch ein gewisser longitudinaler Anteil und umgekehrt. Diesen Anteil kann man durch den Einschallwinkel und die Form des Ausbreitungsmediums beeinflussen, insbesondere bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens beim Widerstand-Schweißen, bei dem die Ultraschallwellen zunächst in die Schweisselektrode eingekoppelt werden.

Neben der bereits bekannten Standardmessanordnung, wie sie in Fig. 2 dargestellt ist, weist eine vorteilhafte Messanordnung zwei Ultraschallsender 5, 5' gemäß Fig. 4 auf, von denen der eine Sender bevorzugt Transversalwellen 5 sowie der andere Sender 5' bevorzugt Longitudinalwellen über die Schweisselektrode 3 in die Füge Teile 1, 2 einkoppeln. Ebenfalls sieht die Gegenelektrode 4 zwei unterschiedliche Empfänger 8, 8' vor, von denen jeweils der eine Ultraschallempfänger Transversalwellen sowie der andere Ultraschallempfänger Longitudinalwellen zu detektieren vermag. Auch ist es möglich, nur mit einem einzigen Ultraschallempfänger 8 zu arbeiten, wobei das empfangene Signal in seine longitudinalen und transversalen Schwingungsanteile zerlegt werden muss. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass das Empfangssignal in zwei verschiedenen Zeitfenstern ausgewertet wird.

Die Auswertung des Empfangssignals ist auch in einem gemeinsamen Zeitfenster möglich, sofern der longitudinale und der transversale Signalanteil in unterschiedlichen Frequenzbereichen vorliegt. In einem derartigen Fall können beide Schwingungsanteile durch entsprechende Frequenzfilterung des Empfangssignals selektiv detektiert werden.

So konnten beispielsweise die in den Fig. 1a und 1b dargestellten Messwerte derart erhalten werden, wobei das Empfangssignal breitbandig empfangen und anschließend digital gefiltert wurde. Das transversale Empfangssignal ist mit einem

Tiefpass mit einer oberen Grenzfrequenz von 150 kHz ausgefiltert worden, das longitudinale Empfangssignal wurde über einen Hochpass mit einer unteren Grenzfrequenz von 300 kHz ausgewertet.

Bezugsz ich nliste

- 1,2 Fügepartner
- 3,4 Schweisselektroden
- 5, 5' Ultraschallsender
- 6 Schweissstromsteuerung
- 7 Ultraschallpulsgenerator
- 8, 8' Ultraschallempfänger
- 9 Auswerteeinheit
- 10 Schweisspunktbewertung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bewertung einer sich während eines Schweissvorganges ausbildenden Schweissverbindung zwischen wenigstens zwei Fügepartnern unter Einsatz wenigstens eines den Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung mit Ultraschallwellen durchschallenden Ultraschallsenders sowie wenigstens eines Ultraschallempfängers, der Schalldurchlässigkeitssänderungen der den Bereich der sich ausbildenden Schweissverbindung durchdringenden Ultraschallwellen zur Beurteilung der Schweissverbindung registriert, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Bereich der Schweissverbindung mit longitudinalen (l) und transversalen (t) Ultraschallwellen durchschallt wird, dass die zeitabhängigen Schalldurchlässigkeitssänderungen $D_l(t)$, $D_t(t)$ für die longitudinalen (l) und transversalen (t) Ultraschallwellen jeweils getrennt voneinander registriert werden, und dass anhand einer Verhältnisbildung aus $D_l(t)$ und $D_t(t)$ der Zeitpunkt t_s ermittelt wird, an dem sich im Bereich der Schweissverbindung eine Schmelze ausbildet und der als Grundlage für die Bewertung der Schweissverbindung dient.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Zeitpunkt t_s , an dem sich im Bereich der Schweissverbindung zwischen den Fügepartnern eine Schmelze ausbildet, dadurch ermittelt wird, dass jener Zeitpunkt der zeitabhängigen Verhältnisfunktion aus $D_l(t)$ und $D_t(t)$ bestimmt wird, an dem die Verhältnisfunktion einen größten Sprung in der Steigung aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Ultraschallsender über eine Kontaktfläche Ultraschallwellen in einen ersten Fügepartner einschallt, und dass der wenigstens eine Ultraschallempfänger die den Bereich der Schweissverbindung

durchschallten Ultraschallwellen über eine Kontaktfläche aus einem zweiten Fügepartner registriert,
dass zur Bewertung der Schweissverbindung die folgende zeitabhängige Verhältnisfunktion dient:

$$\frac{D_i(t)}{D_i(t)} = \frac{(EB)_i(t) \cdot (BB)_i(t) \cdot (BI)_i(t) \cdot (BE)_i(t)}{(EB)_i(t) \cdot (BB)_i(t) \cdot (BI)_i(t) \cdot (BE)_i(t)} \approx \frac{(EB)_i^2(t) \cdot (BB)_i(t)}{(EB)_i^2(t) \cdot (BB)_i(t)} \approx \frac{(BB)_i(t)}{(BB)_i(t)}$$

mit $(EB)_{i \text{ oder } t}(t) \equiv$ Schalldurchlässigkeit an Schalleinkoppelfläche am ersten Fügepartner für Longitudinal - oder Transversalwellen
 $(BB)_{i \text{ oder } t}(t) \equiv$ Schalldurchlässigkeit am Kontakt zwischen den Fügepartnern für Longitudinal - oder Transversalwellen
 $(BI)_{i \text{ oder } t}(t) \equiv$ Schalldurchlässigkeit innerhalb der Fügepartner für Longitudinal - oder Transversalwellen
 $(BE)_{i \text{ oder } t}(t) \equiv$ Schalldurchlässigkeit an Schallauskoppelfläche am zweiten Fügepartner für Longitudinal - oder Transversalwellen

wobei $(BI)_{i \text{ oder } t}^2(t)$ sowie $(EB)_{i \text{ oder } t}^2(t)$ für Longitudinal- und Transversalwellen unter Voraussetzung niedriger Frequenzen und kurzen Durchschallungswegen weitgehend gleich sind.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch **gekennzeichnet**, dass der Bewertung der Schweissverbindung die Größe der sich ausbildenden Schmelze zugrundegelegt wird, die aus der Größe des Steigungsunterschiedes der Verhältnisfunktion zum Zeitpunkt t_s ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch **gekennzeichnet**, dass der Schweissvorgang im Rahmen eines Widerstandsschweissens durchgeführt wird, bei dem Kontaktelektroden an die Fügepartner angesetzt werden, die zugleich mit den Fügepartner Kontaktflächen bilden, über die die Ultraschallwellen eingekoppelt bzw. ausgekoppelt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch **gekennzeichnet**, dass der Schweissvorgang im Rahmen eines kontaktfreien Schweissprozesses durchgeführt wird, bei dem der Ultraschallsender und Ultraschallempfänger direkt mit den jeweiligen Fügepartnern in Kontakt gebracht wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch **gekennzeichnet**, dass als kontaktfreier Schweissprozess Laser-, Elektronen- oder Ionenstrahlschweissen eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch **gekennzeichnet**, dass als Ultraschallsender und -empfänger Piezoelementprüfköpfe oder EMUS-Prüfköpfe verwendet werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch **gekennzeichnet**, dass durch eine On-Line Bewertung der sich ausbildenden Schweissverbindung Regelgrößen generiert werden, durch die der Schweissvorgang beeinflusst wird.

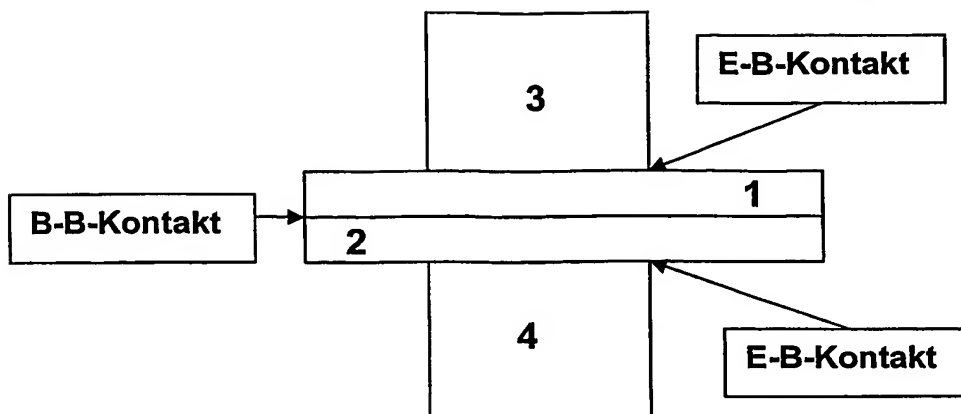


Fig. 1a

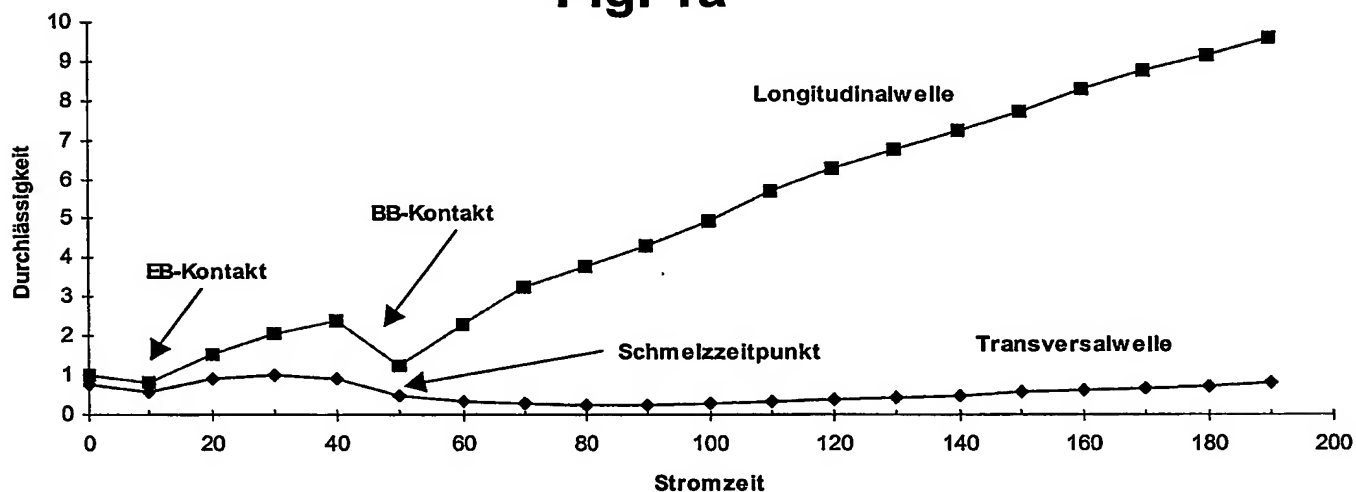


Fig. 1b

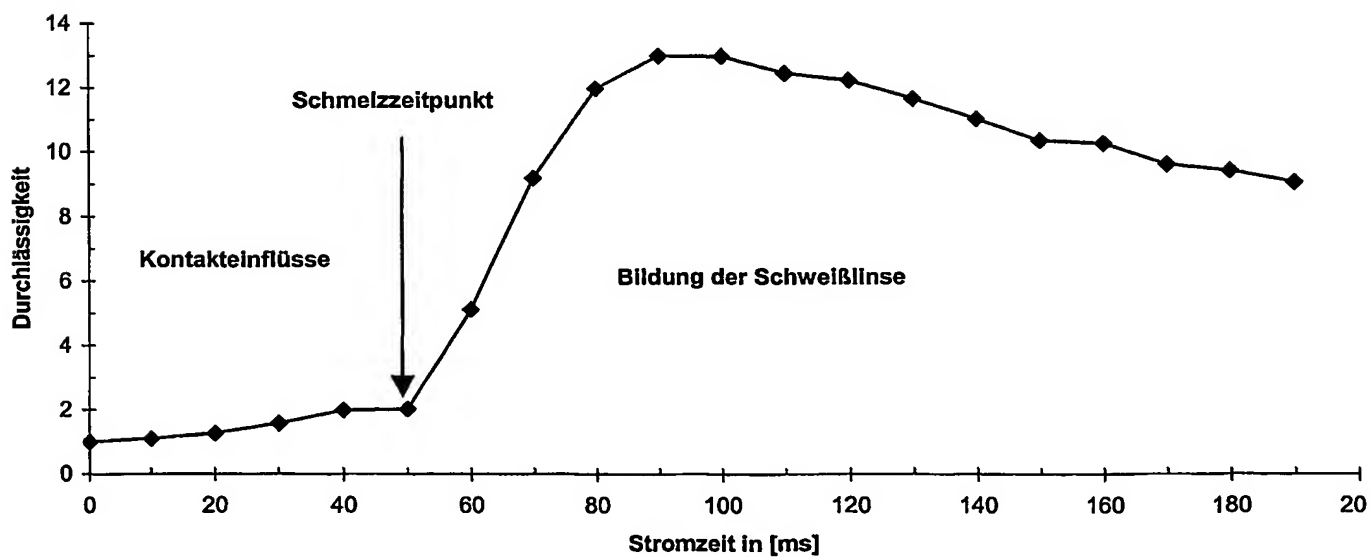


Fig. 1c

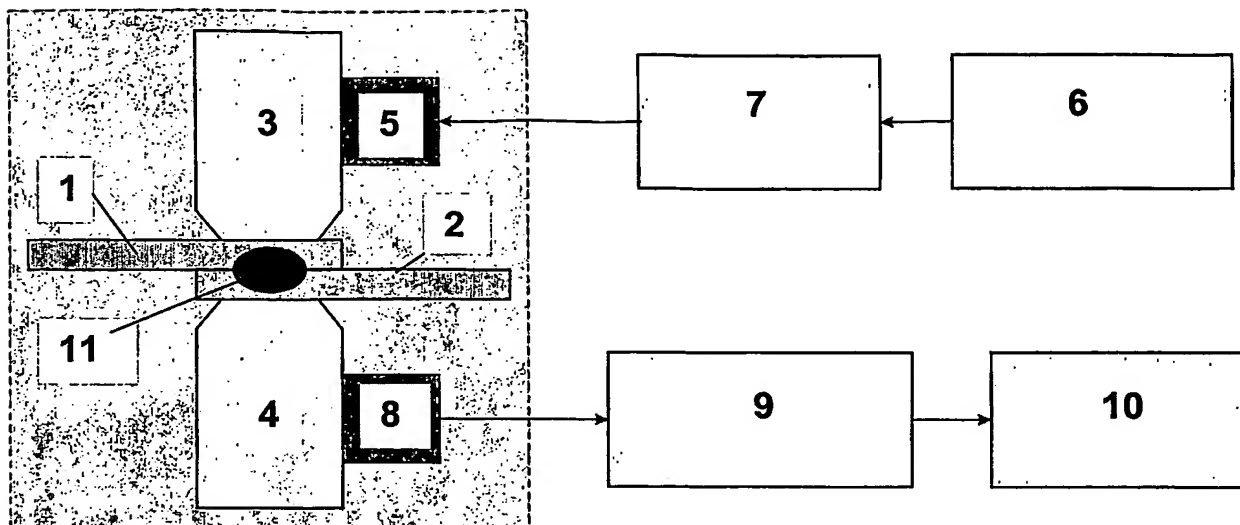


Fig. 2

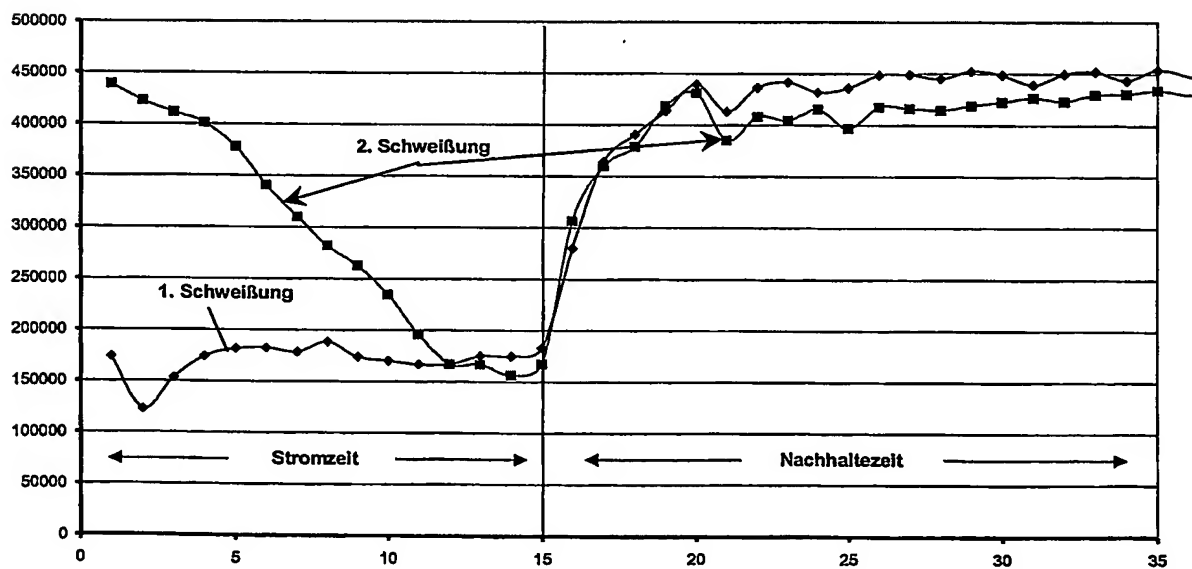
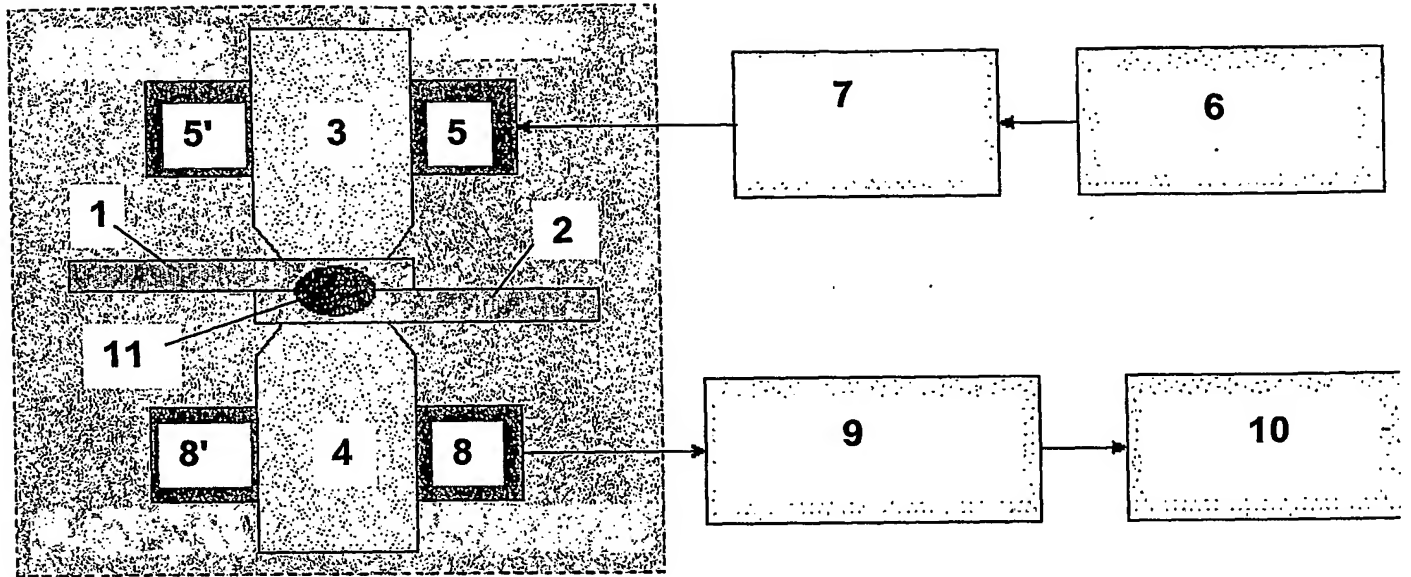


Fig. 3

**Fig. 4**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.
PCT/EP 03/14094

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K31/12 B23K11/25 B23K9/095 B23K26/03 G01N29/04
G01N29/18 B23K15/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 101 10 045 A (BOSCH GMBH ROBERT) 5 September 2002 (2002-09-05) paragraphs [0001], [0014], [0015]; claims 1,7; figures 1,2	1-9
A	US 5 920 014 A (E. WASCHKIES) 6 July 1999 (1999-07-06) claim 1; figures 1.2,2.1	1-9
A	DE 43 25 878 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 24 February 1994 (1994-02-24) cited in the application the whole document	1-9
A	EP 0 132 187 A (GAZ DE FRANCE) 23 January 1985 (1985-01-23) page 9, line 25 - page 11, line 8; claims 1,3	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the International filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 May 2004

Date of mailing of the international search report

25. 05. 2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jeggy, T

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/14094

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10110045	A	05-09-2002	DE 10110045 A1	05-09-2002
			WO 02071091 A2	12-09-2002
			EP 1410058 A2	21-04-2004

US 5920014	A	06-07-1999	AT 167300 T	15-06-1998
			DE 4325856 A1	24-02-1994
			DE 4325858 A1	24-02-1994
			DE 4325878 A1	24-02-1994
			WO 9403799 A1	17-02-1994
			EP 0653061 A1	17-05-1995
			ES 2118244 T3	16-09-1998
			JP 7509562 T	19-10-1995

DE 4325878	A	24-02-1994	DE 4325878 A1	24-02-1994
			AT 167300 T	15-06-1998
			DE 4325856 A1	24-02-1994
			DE 4325858 A1	24-02-1994
			WO 9403799 A1	17-02-1994
			EP 0653061 A1	17-05-1995
			ES 2118244 T3	16-09-1998
			JP 7509562 T	19-10-1995
			US 5920014 A	06-07-1999

EP 0132187	A	23-01-1985	FR 2549607 A1	25-01-1985
			AT 37094 T	15-09-1988
			CA 1232671 A1	09-02-1988
			DE 3473928 D1	13-10-1988
			EP 0132187 A1	23-01-1985
			NO 842934 A ,B,	21-01-1985

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

EP 03/14094

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B23K31/12 B23K11/25 B23K9/095 B23K26/03 G01N29/04
G01N29/18 B23K15/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 101 10 045 A (BOSCH GMBH ROBERT) 5. September 2002 (2002-09-05) Absätze [0001], [0014], [0015]; Ansprüche 1,7; Abbildungen 1,2 -----	1-9
A	US 5 920 014 A (E. WASCHKIES) 6. Juli 1999 (1999-07-06) Anspruch 1; Abbildungen 1.2,2.1 -----	1-9
A	DE 43 25 878 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 24. Februar 1994 (1994-02-24) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-9
A	EP 0 132 187 A (GAZ DE FRANCE) 23. Januar 1985 (1985-01-23) Seite 9, Zeile 25 - Seite 11, Zeile 8; Ansprüche 1,3 -----	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Mai 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

25. 05. 2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, T

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

P 03/14094

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10110045 A	05-09-2002	DE 10110045 A1 WO 02071091 A2 EP 1410058 A2	05-09-2002 12-09-2002 21-04-2004
US 5920014 A	06-07-1999	AT 167300 T DE 4325856 A1 DE 4325858 A1 DE 4325878 A1 WO 9403799 A1 EP 0653061 A1 ES 2118244 T3 JP 7509562 T	15-06-1998 24-02-1994 24-02-1994 24-02-1994 17-02-1994 17-05-1995 16-09-1998 19-10-1995
DE 4325878 A	24-02-1994	DE 4325878 A1 AT 167300 T DE 4325856 A1 DE 4325858 A1 WO 9403799 A1 EP 0653061 A1 ES 2118244 T3 JP 7509562 T US 5920014 A	24-02-1994 15-06-1998 24-02-1994 24-02-1994 17-02-1994 17-05-1995 16-09-1998 19-10-1995 06-07-1999
EP 0132187 A	23-01-1985	FR 2549607 A1 AT 37094 T CA 1232671 A1 DE 3473928 D1 EP 0132187 A1 NO 842934 A ,B,	25-01-1985 15-09-1988 09-02-1988 13-10-1988 23-01-1985 21-01-1985